

УДК 621.922

Др Любодраг М. Танович, профессор, КТН Михайло Д. Попович, ассистент,
Машиностроительный факультет Белградского университета, Белград, Сербия, КТН Миливое В.
Шливанчанин, «Энергомермеринвест», Белград, Сербия

СПЕЦИФИКА ПРОЦЕССА РЕЗАНИЯ МРАМОРА PERLATO

Уровень применения продукции из мрамора близко связан с качеством обработки, то есть с точностью размеров и качества обрабатываемой поверхности. Технологические основания для рентабельной обработки мрамора подразумевают четкое понимание взаимосвязи, возникающей между абразивным зерном и материалом мрамора. В данной статье показаны результаты в области образования стружки при микрорезании, а также анализ изменения сил резания и профиля шлифовального круга в функции изменения элементов обработки при резании мрамора Perlato.

The level of application of marble products is closely connected to the quality of machining, that is measurement accuracy and the quality of the machined surface. The technological basis for economic marble machining implies a thorough understanding of the interaction which occurs between the abrasive grain and the marble material. The paper presents the results in the area of filings which form during micro cutting, as well as the analysis of the change of cutting force and the grinding wheel profile, relative to the change of machined elements, during Perlato marble cutting.

1. Введение

Механизм образования микрорельефов при шлифовании мрамора – это сложный процесс, который зависит от механизма образования стружки, метода шлифования, количества (числа) и расположения абразивных зерен в режущем слое шлифовального круга, характеристики шлифовального круга, режима шлифования, способа перезаточки и пр.

Разрушение мрамора при его обработке имеет хрупкий характер, то есть хрупкое разрушение кристалльных фаз осуществляется разделением по отдельным кристаллографическим направлениям. В этих материалах наличие трещин Griffiths, уменьшающие сопротивление в сравнении с теоретическим сопротивлением. Предел сопротивления хрупкого тела зависит от вероятности наличия в нем трещин, способствующих разрушению при определенной нагрузке. У большинства мраморов роль микроструктуры заключается в основном на влияние степени его пористости. Присутствующие поры уменьшают поверхность поперечного разреза стружки и являются концентрацией нагрузки.

Специфичность технологии окончательной обработки требует хорошего знания всех характеристик мрамора, начав с структурно-текстурных (континуум, гомогенность, изотопность) до физико-механических (удельный вес, пористость, влажность, водопроницаемость, твердость, сопротивление, абразивность) и в конце до минеролого-петрографических (размер зерна, вид и содержание цветных ингредиентов и пр.).

Известно, что интенсивность износа (изнашивания) инструментов связана с абразивностью мрамора, скоростью резания и сопротивлениями (силами) резания.

2. Механизм образования стружки

Обработка шлифованием возникает за счет суммирования действия каждой абразивной частицы, проявляющихся через деформацию и разрушение. Механизм микродеформации и микроразрушения в зоне обработки отличаются от параметров (режима) обработки и неоднородности обрабатываемого материала.

Многие исследователи считали аналогичной работу алмазного зерна в шлифовальном круге и выдавливание алмазным индентором при измерении твердости. Очевидно, что кинематика движения и сопротивление движению зерна через материал не совпадают (не соответствуют), но она очень интересна для рассмотрения, так как ее применение – просто. В зависимости от радиуса связки выступления вершин индентора и нагрузки на индентор определяется поле напряжения, таким способом, что возможно заметить переход с хрупкости к упругости. При увеличении радиуса закругленности выступления вершин индентора, состояние напряжение – деформация превышает определенный критический уровень в зоне, граничит с закругленной (круглой) зоной контакта и растет кольцеобразная трещина, которая расширяется всегда в виде конуса.

Вторая группа исследователей выполняла процесс микрорезания выделенным алмазным зерном и процессы шлифования на различных материалах, включая мрамор, но литературные источники по гипотезам о фазах образования стружки отличаются друг от друга, даже они противоречивы.

Режущая способность (возможность) выделенного алмазного зерна в процессе его действия на обрабатываемый материал – мрамор определяется прежде всего его физико-механическими характеристиками и геометрическими параметрами, условиями и сопротивлением со связкой (его прикреплению в связке), а также кинематическими и термодинамическими условиями, в которых происходит работа зерна. Характеристики сопротивления зерна, сопротивление действию сил и температурным действиям обуславливают значительные различия в режущих способностях инструментов. Вид алмазных зерен влияет на основные показатели режущей

способности шлифовального круга: стойкость, производительность силы резания, температуру шлифования, состояние поверхностного слоя и т.п.

В отличие от инструментов с геометрически определенными режущими поверхностями (режущими кромками) у шлифовальных кругов геометрия и вид алмазных зерен – сложна и неопределенна. Для анализа работы таким зернам экспериментально определяются размеры, вид и геометрия в целях замены в окончательном расчете таких неопределенных зерен зернами эквивалентного вида.

3. Эксперимент

Эксперименты по резанию выполнялись на мраморе Perlato, у которого следующие характеристики: плотность 2740 кг/м³, водопоглощение 4.0 %, сопротивление на сжатие 163 Мпа, Young modul 72000 Мпа, сопротивление на изгиб 12.8 Мпа, абразивное сопротивление 32, сопротивление Кноор 2001 Мпа.

Условия обработки: Инструмент - Алмазный шлифовальный круг – отрезной сегментный 1A1RSS 230x5x2.4x22.2 D426 M3 50, глубина резания до 10 мм скорость вращения 24 м/с, скорость продольной подачи 600 мм/мин. Условия обработки внимательно выбирались, так как они больше всего используются для данного типа мрамора. Увеличением скорости продольной подачи более 600 мм/мин было замечено очень выразительное ухудшение качества обработанной поверхности, все эксперименты повторялись три раза и результатом измерения выбрано среднее значение.

Для измерения сил использовался двухкомпонентный динамометр Kistler 5007, аквизиционная карточка + 10V 105 kHz, компьютер, лазерный микроскоп LSM 510 с Axioskop F32 mot секцией (Carl Zeiss).

На основании теоретического рассмотрения сил резания, возможно разложить результирующую силу резания на соответствующие компоненты в больше направлений, как показано на рис.1 и потом наладить взаимозависимость между ними.

На рис. 2. показаны полученные результаты экспериментов изменения нормальной (F_z) и тангенциальной сил (F_y), в зависимости от изменения глубины резания и производительности. Благодаря рисунку можно сделать вывод, что сила резания изменяется почти по линейной

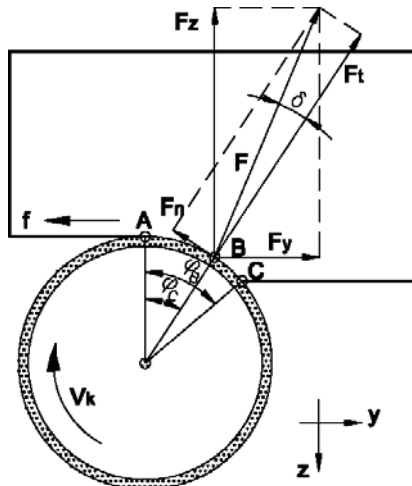


Рис. 1. Схема сил резания

зависимости и что возрастание силы чуть более выраженное при глубинах более 8 мм.

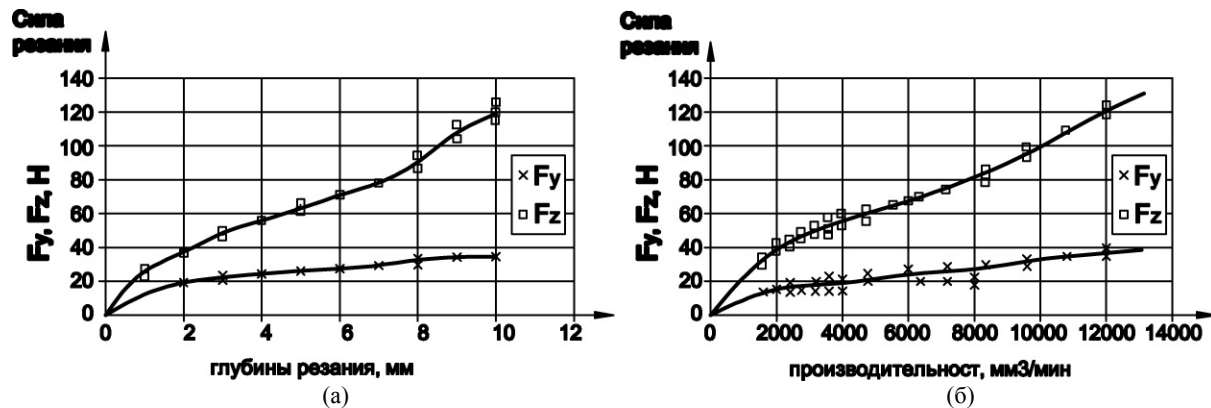


Рис. 2. Изменение сил в функции глубины (а) и производительности (б)

Анализом следов микрорезания на поверхности мрамора, возможно, описать механизм образования стружки:

При маленьких глубинах резания возникает след от алмазного зерна, обуславливающего появление упругих, а потом пластических деформаций, сопровождающихся появлением боковых, радиальных и проникающих трещин маленькой интенсивности, рис. 3.

При увеличении глубины резания вышеуказанные трещины затем увеличиваются и соединяются, вызывая выкрашивание (обламывание) блоков обработанной поверхности. На этом месте можно заметить возникновение выкрашивания, измельчения или вылавливания целых зерен мрамора, вызывая неравномерное выкрашивание вдоль канала, сформированного от алмазного зерна.

Под обработанной поверхностью остаются трещины, возникшие не только в процессе создания

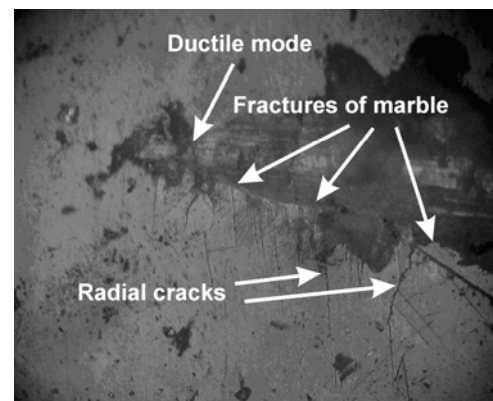


Рис.3. Пластические деформации и след микрорезания на мраморе, x150

мрамора, а в течение процесса обработки, таким образом, что могут значительно повлиять на сопротивление данной части. Это указывает на необходимость стремления к минимизации размеров трещин, образовавшихся в течение процесса обработки, потому что тогда и скалывание блоков обрабатываемого материала будет уменьшенного объема, то есть соответствующие характеристики качества обрабатываемой поверхности ниже.

Износ инструментов возникает вследствие износа алмазных зерен, их выкрашивания и скалывания, а также и износом связки, возникающей вследствие взаимосвязи с мрамором Perlato, что все вместе приводит к потере режущей способности. После выполненного резания шлифовальный круг снимали, потом его очистили от стружки и затем его поверхность смотрели под микроскопом (рис. 4.) Положение алмазных зерен на поверхности шлифовального круга по различному количеству снятого материала показана на рис. 5 и наблюдаются следующие специфичности: открытие зерна (A), больше всего выступает зерно (B), сравненное зерно (C), микротрещина (D), макротрещина (E) и скалывание зерна (F). На рисунке можно наблюдать два места: первое, с ясно выявленным возникновением выступающих зерен при обработке мрамора Perlato, определенным высотой h_{max} и второе приблизительно с постоянной высотой алмазных зерен. В первой части происходит выраженное возобновление зерна, во второй части ясно выражен износ – полировка зерна.

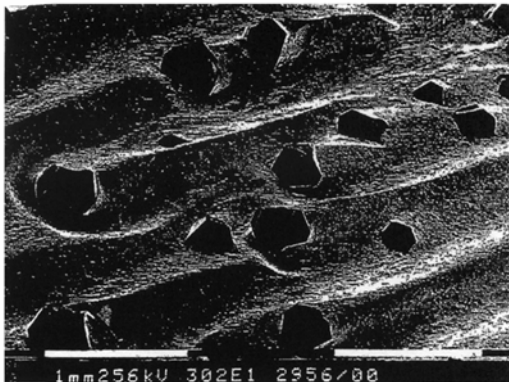


Рис. 4. Съемка поверхности шлифовального круга

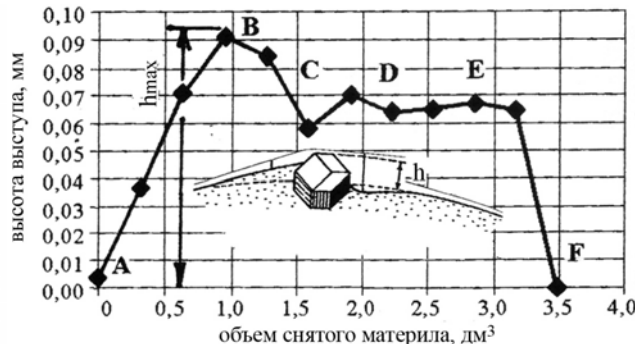


Рис. 5. Кривая изменения выступления вершин алмазных зерен на шлифовальном круге

4. Вывод

Развитие и внедрение новых алмазных инструментов при обработке мрамора предполагает хорошее знание процессов, возникающих при взаимосвязи абразивное зерно – мрамор.

На выбор режима резания и характеристик инструментов во многом влияют физико-механические характеристики мрамора, а прежде всего абразивность (сопротивление износу), непосредственно влияющая на износ инструментов. Мелкозернистые и среднезернистые виды структуры мрамора более подходят для обработки, потому что появление выкрашивания у них меньше выражена, чем у крупнозернистых структур. При повышенных температурах мрамор терпит модификации, химические преобразования и сгорание отдельных минералов. Особенно необходимо учитывать влияние влажности на уменьшение сопротивления мрамора.

Проведенные исследования обеспечили установление изменения силы резания в функции глубины резания и количества снятого материала у мрамора Perlito. Износ шлифовального круга, показанный посредством характеристик профилей, нам говорит о механизме износа алмазных зерен и связки.

Список литературы

1. Malkin S., Hwang T.W., 1996, Grinding Mechanisms for Ceramics, Annals of the CIRP, 45/2: 569-580.
2. Nara Y., Koike K., Yoneda T., Kaneko K., 2006, Relation between subcritical crack growth and crack paths in granite, Int. J. Rock Mech. Min. Sci., 43/8: 1256-1261.
3. Chen L.H., Labuz J.F., 2006, Indentation of rock by wedge-shaped tools, Int. J. Rock Mech. Min. Sci., 43/7: 1023 - 1033.
4. Wong L.H., 1982, Micromechanics of faulting in westerly granite, Int. J. Rock Mech. Min. Sci. Geomech., 19: 49-64.
5. Olsson W.A., Peng S.S., 1976, Microcrack nucleation in marble, Int. J. Rock Mech. Min. Sci. Geomech., 13: 53-59.
6. Robina H.C., Wong K.T., Chau P.W., 1996, Microcracking and grain size effecting Yuen Long marbles, Int. J. Rock Mech. Min. Sci. Geomech., 33/5: 479-485.
7. Ferrero A.M., Marini P., 2001, Experimental Studies on the Mechanical Behaviour of two Thermal Cracked Marbles, Rock Mech. Rock Eng., 34/1: 57-66.
8. Alehossein H., Detournay E., Huang H., 2000, An Analytical Model for the Indentation of Rocks by Blunt tools, Rock Mech. Rock Eng., 33/4: 367-384.
9. Bates R.L., 2002, Industrial Minerals and Rocks, 4th Ed., Editor Stanley Leford, AIME, New York: 3-7, 65-96; 157-174.
10. Blyth F.H., Freitas M.H., 1993, A Geologist for Engineers, Edward Arnold, London.
11. Chen X., Rowe W.B., 2002, Analysis and simulations of the grinding process part I generation of the grinding wheel surface, Int. Journal of Machine Tools and Manuf., 36/8: 871-882.
12. Malkin S., 1999, Grinding technology, theory and applications of machining with abrasives, Elos Horwood, Chichester.
13. Inasaki I., 1987, Grinding of Hard and Brittle Materials, Annals of the CIRP: 463-471.
14. Tanovic L., Kalajdzic M., Ryzhov E.V., 1997, Chip Formation in Microcutting Ceramics, Journal of Superhard Materials, Allerton Press, 19/1: 22-26.